

科学と技術

——理論と実際との間——

(Faraday の発見と電気工学)

Science and Technology

坂 本 信 太 郎

1.

科学・技術時代とか科学・技術の開発，科学技術の振興……の言葉に見られるように科学と技術は並べられて使用されることが多い。このことは科学と技術の両者の間には非常に密接な連繋と深い関係のあることを誰もが一般的によく知つて居り，切り離しては考えられないことを熟知しているからであるといえよう。確かに，この両者は車輛の両輪の関係を有して居り，相互作用を維持し合いながら進むものであり，そのどちらかを欠いてはその正常な存立さえ危くなるものなのである。

科学は常に経験や事実・労働の中から始まり，次いで独自の推進力で発展してゆく。そして，その発展の極において科学が我々の眼前に現わす姿は，非常に抽象的な形態となり，およそ出発時におけるものの形態とは異つた，掛離れたものになってしまうのである。

しかしその形態が始めのものと如何に異ろうと最後には亦経験に，事実に戻らなければならないものであり，戻ってくるものなのである。

例えば，Newtonの運動方程式

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= m\mathbf{A} \\ &= \frac{d(m\mathbf{V})}{dt} \end{aligned}$$

\mathbf{F} : 力, m : 質量, \mathbf{A} : 加速度, \mathbf{V} : 速度, $m\mathbf{V}$: 運動量

もその出発点である力の概念は，Max Planck が指摘するように“筋肉の努

力感から始まったものであり、亦この方程式は、この努力感を充足するのである。労働・技術の中から始まり労働・技術の中に還元している。

或いは熱力学の第二法則を見てみるならば、そこにも同様の事を見出すことが出来る。即ち

《Wärme kann nie von selbst von niedriger zu höherer Temperatur übergehen.》 (Clausius)

(熱は、自然に於ける他のいかなる変化をも残さず低温から高温に移ることは出来ない。)の表現による第二法則及び、これの量的定式化である

$$\sum_{v=1}^n \frac{Q_v}{T_v} \leq 0 \quad (= \text{は可逆} : < \text{は非可逆})$$

Q_v : 絶対温度 T_v の熱源から放出された熱量

T_v : v 番目の熱源の絶対温度 ; $T_v = 273 + t_v^{\circ}\text{C}$

は、我々の日常経験であるところの高い温度の物体は自然に放置されているならその温度は段々と下がっていくのみである、に出発点を有するのであり、18世紀産業革命の動力源であつた熱機関改良の技術の中から始まったものなのである。そしてこの法則は凡ての熱機関設計の指針になっているのである。

これで分るように、実践的なものが常に科学の源泉になっているのである。

翻つて科学の技術への貢献、影響は如何であらうか。

技術は人間生活の物的手段として科学より人間生活にもつとも近いものである。科学が未だ現われる以前から存在し、遅々としたものではあつたが進展を示していた。労働における試行錯誤の繰返しから得た知識と経験、その積重ねによる伝統が、この場合の推進力であつた。そして科学は技術からの恩恵を存分に受けたが、技術への返礼を示さないでいた。科学の技術への貢献が見られるようになったのは Renaissance を過ぎてからであり、その影響が真に強くなったのは全く近代になつてからの事であつた。

技術における問題点は直ちに科学に好課題を与え、科学を進展させる推進力になるが、科学における新発見、新理論が技術の上に稔る為には可成りの時間を要し、早急の影響は不可能であるといえる。

故に科学と技術の相互関係は、対称的ではないのであり、技術の方がずれて

遅れ勝ちになるのである。この原因は何によるのであろうか、亦このずれは根本的なものであり、無くすことの出来ないものなのであろうか。

人は科学上で新発見、新発明が行われるとそれが直ちに技術化されて、誰もが使用出来ることを夢見、期待してやまないものである。しかし現実には、この期待が破られてしまうことの方が多く、少からざる不満を持つものである。そしてやがて忘れ去つてしまい、後日それが実現化されたのを見た時には、突然それが出現したものと考え驚いてしまうものである。

科学と技術は、その構造は非常に似ているものであり、その目的も近いものである。

Crowther は次のように言っている。

“科学とは人間が自己の生活を維持し向上せしめるために、自己の環境内容を研究し利用すべき知識の体系であり、亦そのようなものとして始められた。

技術は、その物的手段の体系である。”と。

しかし、技術はその目的に接近する過程と手段において、少からざる違いを持つのである。科学はともすれば、人間社会から超然とし勝ちであり、科学それ自身の状態で進んで行くことが出来る。(この事は決して好ましい事ではなく、注意しなければならないことなのである)

これに反して、技術はその時の人間生活により密着しているだけに、その社会における物的状態や水準等により強く左右されてしまうのである。

金属熔錬の技術と使用を人間が始めたのは新石器時代の末期の紀元前 3500～3000年と言われているが、その発見はそれより遙か以前の事であつたと言われている。発見から発明・使用に到るのに驚ろくほどの長い時間を経ているのである。この理由は種々と考えられる。

新石器時代以前の農民達が炉の中に転げ込んだ孔雀石(銅鉱石の一種)が熔けて銅金属となることを見てもこの現象の意義を認識するのに時間を要したこともその一因であろうが、より根本的なことは次のようなことであつた。

“如何なる発見や発明も、それが実際に有用であるかどうかを決定するのは、その発見・発明それ自体の中にあるのではなくて、その時の社会の状態や構造

次第によるのである”。

即ち、金属器の製作には多数の多様な専門家の手を必要とするものであり、その専門家達を十分に維持出来るほどの社会的生産力が無ければその製作は不可能であり、切角発見・発明がなされても、役に立たぬものとして忘れさられ棄てられてしまうことになる。

新石器時代の末期には、この発見・発明が有用な資産の一つとして発展させられるのに必要にして十分な条件が整っていたので、ここにその使用と製作が始められたのである。

技術に於いて、このことは大切なことであり、現代に於いては一層きびしく技術の発展を規制しているのである。

技術は経済的な有利が見込まれない限り、それ自体どんなに優れているものであつても、打ち棄てられてしまうのである。そして亦より一層の有利性が見られるときは、どんな弊害が予想されようと、しやにむに突進させられてくるものである。

亦技術の進展は社会構造、経済構造の上に変化をもたらさずにはおかない力をも有しているものである。前記の青銅器の出現においても、鉄器の出現においても、歴史の上から我々が明確に見てとつているように。そして産業革命の進撃も亦そうであつたように。

そこで経済構造や社会構造のどんな些細な部分にも変更を生じ、現状に不利な結果を発生しそうな傾向が見られると、その進出は阻止されるか、全く見棄てられ顧みられなくなつてしまうものである。或いは技術の面からでなく別の操作によつて、その障害を取除くべく努力がなされる。そして著しくその実現が遅らされてしまうことが出てくるのである。

科学と技術の相違の大きな点がここに在る。従つて科学上の成果が1個の技術に実現される過程は一直線に進むものではなくなる。

即ち科学の成果を充分に理解するだけでは十分ではない。技術化する前に更に別個の観点からその成果を踏査し、必要とあらば追試や実験を行つて細部的な条件を決定しなければならない。そこで実現可能の見通しがつけば、今度

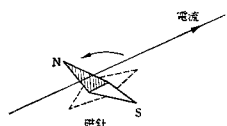
は大量生産方式の為の亦経済的条件の為のプランが練られる。ここでのプランと上記の条件とを両立させるように更に研究・調査が行われ、その結果に基づいて中間試験、中間工場での試作がなされ、本格的生産の為の試験と吟味が繰返され、ここで充分に行える見通しが明らかになって技術は完全に実現されるといつた過程を一般に踏んで来ているのである。

このような科学から技術への紆余曲折なからみ合いの実体を、近代技術の先端をなし、基礎をなした電磁気学の電磁機械への発履の過程に見てみたいと思う。

2.

19世紀に至る迄、電気に関する科学と、磁気に関する科学は並行に発展していて、両者の間には関連がなかった。しかし電気力に付いての性質・法則と磁気力についてのそれが、余りにも相似しており、相似した事象が多く知られるにつれて、両者は同一のものではないか？ 両者の間には密接な関連があるのではないだろうかとの考えが漂い始めてきた。

そして両者の間の関連性は、1819年コペンハーゲンの工業大学の教授であった Oersted により偶然発見された。



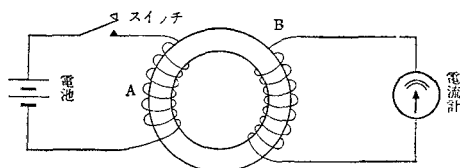
彼は磁針に平行に針金を置いて電流を流してみたら、ところ磁針が大変にフレるのを見たのである。

この実験は至る所で繰返し行われた。そして電流の流れている針金は磁石としての作用を持つに至ることが明らかにされ、この結果は Ampère により数式化されたのである。

1821年には英国に於ても Oersted の実験は知られるに至り、ここに電気学、磁気学の領分に於ける 19 世紀最大の実験家である Michael Faraday が電磁誘導の現象を発見するのである。1824 年 Faraday は電流が磁石に影響を与えるのであるから、磁石も亦電流に反応すべきであると考え、電流計へ結んだ針金の近くに置いた他の針金に電流を通して見たのである。しかし当時、誘導電流現象の瞬間的存在は、彼の慧眼をのがれ、何等の結果も与えなかった。けれ

ども Faraday は頑強にこの考えを捨てずに実験を繰返したのである。

1831 年 8 月 29 日、彼は軟鉄の輪を取り、其の周りに A と B とのコイルを巻いた。コイル B は電流計につながられ、A にはスイッチを



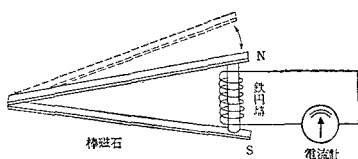
介して電池と接続した。スイッチを入れると電流計の針はフレ而かも再び原位置に復した。亦スイッチを断つ時にも同様の事が見られた。しかし Faraday はこの時、この現象の意味を十分に把握していなかつたのである。

9 月 23 日に彼が書いた手紙に「私は今丁度電磁学の実験に忙殺されて居る。そしてよいものをつかまえたと思うが、しかしまだ何とも言われぬ。私の幾多の労力の後に漸く引き上げることの出来たものは魚の代りに藁であるかも知れない。」と。

翌日彼は一本の鉄の円嚮を取り、其の周りに針金を螺旋状に巻き、これを電流計につないだ。そしてこの円嚮を棒磁石の両極の間に置いた。

Faraday は言っている。

「さて N と S での磁石の接触が開き或いは閉ぢられるたびに、(鉄の円嚮はそのたび磁化したり、磁気を失つたりする) 電流計の針がフレるのを見た。其の効果



は前の場合におけると同様であり、単に瞬間的の押し亦是引きであつた。

故に磁気が電気へ変じたのは明瞭である。」

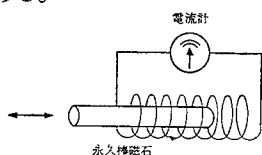
この実験は正に Oersted の実験の逆で磁石によつて電流が起されたのであつた。

そして遂に 1831 年 10 月 1 日彼は電磁誘導を発見したのである。「長さ 203 呎の 1 本の銅線を大きな木の棒にまきつけ、更に同様な 203 呎の針金を第一のコイルのまいてある間に挿んでまいてコイルとし、それらの間の金属的接触を防ぐために全部にわたつて撚糸をまきつけた。

これらのコイルの一つを電流計に結び、他は二重銅 4 吋平方極板 100 対の良好に充電したヴォルタ電池につないだ。接続すると、電流計には急激ではあるが極めて微弱な効果が生じ、接続を断つとまた同様な弱い効果が起きた。

けれどもヴォルタ電流が一つのコイルを通して連続的に流れている間は、たとい其の電池の活動力が強大であつても、他のコイルの電流計には何等の現象も亦何等の感応の如き効果も認められなかつた。」

是等の実験で予期し得なかつた現象は其の誘導効果が連続的でなかつたことである。



10 月 17 日の実験では、針金のコイル内に永久磁石を単に突込むだけで同じ効果を生じ得たのである。

かくして、“磁界が変化する時にはその中に存在する導線に電流が誘起される”という電磁誘導の現象が発見されたのである。

この法則は、発電機等の実用考案の基本的法則であり、その製作の為めの最も基幹的な法則であつた。

Faraday はこの法則がどのような実用結果をもたらすかについて、多少の識見を有していた。グラッドストン氏が大蔵大臣として Faraday を訪問した時、グラッドストン氏は言つた。「結局、それでどういう良い事があるのです?」「左様ですね」と Faraday は出来るだけ相手に解り易いように言つた。「間もなくあなたはそれに税を掛けることが出来るでしょう」と

しかし彼は、別の研究に移つていつてしまつたのである。彼は書いている。“私はもうすでに得られ、解明されたそれらの力を強めるよりは、むしろ電気と磁気との誘導現象に関する新しい関係、新しい事実の発見を願うものである。これらは今後完全な発展が発明されるだろうと確信している”。

Faraday の理論と彼が準備した技術的な手掛りの完全な実用的発展には長い時間がかかつた。

1880年代迄実際に有効な発電機は具体化されなかつた。

この間の 50 年間は科学と工学との溝をなしている。即ち實際的應用と基礎的研究との相違を識別する時期であつた。

Faraday が僅かな日月の間に為し遂げた事柄とこの半世紀に亘る経過は、科学が技術に取入れられてゆく過程を非常によく示す例を提供するものである。

この過程は型式的に二つの相に分けられる。第一は、基本的な発見がなされたが、誰もその有用性を見出さず認識しない。

発見による新展地は唯、純粋な科学者や好奇心をひくだけで実用を目指しているのではない。

これは理論が実用に先行している時期である。その後、普通或は副次的領域の進展の結果として、その発見に対しての技術的動きが現われ始める。

このような動きは数ヶ月或いは数年内に始まるかも知れないし、或いは恐らく永遠に始まらないかも知れないが、それが動き始めるとき、技術者や発明家や事業家達の間に苛烈な競争が巻き起されるのである。

しかしその時になつて彼等は、理論がその目的には不充分であることを亦自分達が使いこなせるほど充分に理論を理解していないことに、等しく気がつくのである。

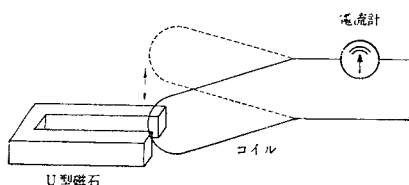
この第二の様相の中では応用化は不十分な理論の土台に悩むのである。しかし経済的な刺激にうながされ、その応用化は急速度で行われるようになるのである。

伸びてゆく技術は、科学をとりまく他のものと同様に科学に対し貢献しはじめ、理論は愈々拡張され深淵なものにされてゆくのである。

考案は、自然は真理の鏡であり、その真理が物質世界の理解に吾々を近づけるのであることを知っている人の考えに基づくものである。そして遂に、この相互作用が工学上の欠陥をうめるにいたるのである。

前記の Faraday の発見を更に追つて、その発展の姿を見てみよう。彼は誘導現象を更に種々な状態方法で行わせることを試み、針金の単一な輪を U 型磁石の間に通過させて、誘導電流を生ぜしめる装置を作つた。この誘導電流発生装置は最も原理的な、最も簡単な型態のものであつた。

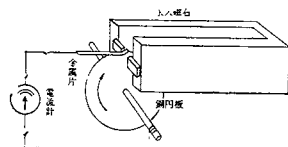
これらにより得られる電流は、断続的な急変するものであり、そして磁場と



導体(針金)の相対運動が長ければ長いほど、この電流は続くものである。

そこで Faraday は連続的な電流を得るために、磁場と導体の相

対運動が間断なく行われることが必要であることを考え、その為の装置として、銅の円板を永久磁石の極の間で回転させ、運動を連続的に行わせるように改良したのである。円板の軸にまきつけた導線の一端を電流計に、他端は電流計から出て、円板の周辺にふれている金属片に結んだ。円板が回転している間、電流計は絶えず連続的な電流を示した。“それ故に”と Faraday は書いている“磁気から永久的な電流を創り出すことが示されたのである”と。



彼はこの装置を“新電気機械”と呼んだ。そして更に数個の円板を使用することで、その能力を増大させることが出来ることを暗示した。

ここまで来て彼は前記のようにこれ以上進めることを止めて、別の問題に進んだのであつた。

以上の様に、Faraday の行つた実験や観察の中には、明確に実用発電機設計への数々の手掛りが含まれていたのであつたが、直ちに人々が理解し、気づくことが出来なかつた。これらは、次の半生紀間に行われた、数々の無駄な努力、試行錯誤を経て後、ようやく気づかれていつたのである。

最も重要な手掛りは“端子間を結ぶ導線が(例えば円形の一部をなしている)、

もしも磁力線を切るように動くならば、その中に電流を励起しようとする動作を創り出す”という彼の言葉である。

ここに彼により言い出され、使用されている磁力線、力線という革新的な考えは、当時の大部分の物理学者達にすら受け入れられなかつた概念であつた。そして 1864 年 James Clerk Maxwell が、Faraday の実験、考えの数学的解

積と定式を発表するまで確固とした地位を物理学の中においてさえ得る事が出来なかつたのである。

けれども、1831年に Faraday は、磁気から電気を創り出す彼の方法の中で、導体で磁束を切る事が決定的な要因である事を既に示しているのである。

この事は（電池に接続したり断つたりして）磁場を変化させても或いは磁石を動かしても、導体を動かしても何れの場合に於ても正しかつた。更に彼は誘起される電圧は、導体が磁束を切る割合に比例しているという法則、即ち Faraday の法則とよばれる原理を発見していた。

この割合を最大にするためには、理想的な発電機中で導体が磁力線を直角に切るように磁場内を通過させればよいのである。この事は明瞭なことであつたのだが、磁力線を創り出す根源として磁場を考え捕える事の出来る人はほんの僅かであつたので、数年間の間 Faraday に続く人は現われなかつた。その結果として適切な電機子（回転子）も現われなかつた。

実用発電機設計へのもう一つの手掛りは、鉄の環にまいたコイルは、木心にまいたコイルの場合よりも遙かに多くの電流を生ずるという Faraday の正確な記録である

何故なら、鉄は一層すぐれた磁気回路を成し、磁束を集中せしめ、その結果より多くの磁力線をコイル中に通過させる。そして第二のコイルが一層多くの磁力線を切る事になるので、電流を強大になし得るのである。

しかしこのことは Faraday にも亦彼の後継者達にもよく分つていながつたので、初期に於ける発電機の開発では、磁気回路の問題は無視されてしまつていた。

その為に電動子は、鉄の円柱にコイルをいとも簡単に、不揃に巻いて作られていた。そのためにコイルは、或る時は磁束が増加する時に、亦或る時は丁度それと反対に磁束が減少する時に、磁場を通過するという不合理を生じていた。

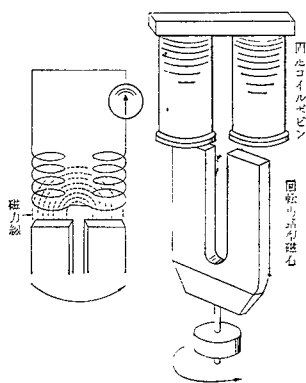
Faraday の実験では磁場発生のために永久磁石も電磁石も共に使用していた。彼は何れを使用しても、その効果は質に於ても同一性を持つことを認識してい

たのであるが同時に両者の間にその便利性等からくる優劣差をもつけていた。

電磁石の方がより軽く更に有効であるにも拘らず、初期の発電機製作者達は、大した理由もないのに専ら不恰好な不便な永久磁石を使用していた。

電磁石が一般的に使用されるようになったのは 1860 年代に入ってからであり、それ迄は使用されなかつたのである。

このように 1831 年の Faraday の実験の結果は、発電機工学発展の第一段階を始めたのであつた。しかし、電磁誘導現象は、電池よりも遙かに弱小な電源のように見えたし、更に重要なことは、大電流が得られてもこれを利用すべき、はつきりした用途もなかつた。亦これらの用途を生み出す機械を進展させる何らの刺激も無かつたので、基本的な発見が為され、そこに理論が在つたが、直接にその応用への興味はなかつたのである。



ところで歴史に於ていつも見るように、ここにも物好きな人間が出てきた。1832 年 Hippolyte Pixii が Faraday の原理に基づいた機械（それは効果に於て発電機の玩具を出ないものであつた）を製作し、パリで公開した。この考案は固定したコイルと手で廻す回転馬蹄形磁石で出来て居り、出力は、弱い磁石と操作者の腕力エネルギーの為に非常に限られたものになつていた。

Pixii が磁石と導体間の関係の重要性を理解していたならば、もつと大巾に出力を増す可能性はあつたのである。彼の装置では、回転磁場を導体が初めは一方向から、次にそれと逆の方向から切るようになるので、発生する電流は絶えず向きを変へる交流であつた。当時に於ては交流は全然機械的力を生じないと考えられていたので、Ampère の暗示に従つて彼は整流子をつけた第二の模型を製作した。その結果、電池からの電流と同じような直流を得る事が出来たのである。（整流子は電動子の巻線と外部回路の間の接続を次々と反対にしてゆく回転スイッチであり、巻線中の電流の方向を変化させ

るので、外部電流を常に同方向に流すことが出来るものである。)

実際には交流の方が電力伝送には最適であり、有利な点が多いのであるが、この時期に確立した直流の伝統から脱け出すには数年を要することになるなつてしまつたのである。

別の実験的な発電機は 1833 年アメリカで Joseph Saxton により製作された。これはボビンに巻いた一対のコイルが固定した馬蹄形磁石の極の真前で回転するものであつた。そしてつづく二・三年の間に非常に小さな型の同様な機械が、身体に弱い電流を流すことは治療上に効果があるという一時的な医学上のブームに応じて作られた。これこそ Faraday の発見の最初の商業的な応用であつたといえる。

1839年になつて、電気メッキ法の先駆である電気製版技術（彫刻された鋳物の上は電氣的に銅を沈積させる方法である）が発明されるに及んで、従来電池から得ていた小さな電流に代つて大きな電流が必要になり、ここに真の経済的な衝動が Faraday の発見にぶつけられたのである。

そしてここに発電機の可能性が見出され、英国の技術者 John Stephen Woolrich が 1842年、回転ボビン型発電機の改良型で特許を得たのである。薄い馬蹄形磁石を数枚積み重ねて磁場の強さを増し、電気メッキの為に必要な一層安定した電流を発生出来るように電動子をも改良した。そして手ではなく蒸気で運転し、工業用に使えるほどの大量の電流を送り出す事が出来たが、本質的には単純な永久磁石式機械のよせあつめであつた。

その後約 10 年程たつてから、発電機の為のより広大な応用領域が、燈台用に端を発した電燈の開始で始められ、仏人の F. Nollet は、この広大な利用目的に適する最初の発電機の考察に取り掛つた。彼は初め燈台用の光源として、白熱する石灰光（石灰の塊りを酸素素焰で高温に熱して発光させるものである）を考えており、必要な水素と酸素を水の電気分解から得ようと思つたのである。そしてこの目的の為に発電機の製作をした。彼の発電機は馬蹄形磁石の極を、回転しながら通過する多数のコイルにより誘導電流を発生せしめる方式のものであつた。この発電機は不成功に終つたが、これをより発展させれば、新しく

出現してきた炭素アークランプに必要な電力を充分供給出来るものであった。英国の技術者 Frederick Hale Holmes はこれを基礎にして 1857 年固定コイルを回転しながら通過する 36 個の永久磁石を持つ発電機を急ぎ製作した。その重量は 4000 ポンド、そして少くとも 1500 ワットの電力を発生させ得たが、まだ炭素アークを明るく光らせるには不十分であり、役に立たなかつた。とはいえ、この製作は後日続々と作られてきた実用的な発電機の先駆となつたものである。しかし Holmes の巨大な装置の出現は、愈々電磁石の使用を速ざけてしまう結果となつた。

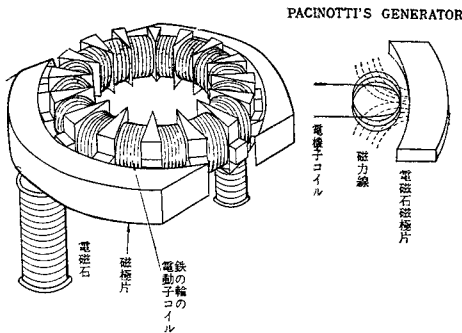
次の段階は、磁束発生源を永久磁石から、もつと有効な電磁石に切り換える事である。1863 年英国の Henry Wilde は、デンマークの Søren Hjørth が 1855 年に案出したものを基礎にして電磁石発電機の特許を得た。この最初の模型では、電磁石の為めの電流即ち励磁電流には電池からの電流や或いは小型の永久磁石式発電機からの電流が用いられた。

間もなく多くの技術者達は、このような補助の電源は不必要であり、発電機自身が磁石を励起するに必要な電流を供給することが出来るのに気づいた。電磁石の鉄心に常に残っている残留磁気が最初の磁場を供給し、この為に少量であるが電流が発生する。この電流が励磁電流となつて次々と磁場は強くなり、磁場の強さは発電機の出力上昇に応じて増加してゆく。これが自励式の発電機である。ここに開発された自励式発電機は初期の磁石式発電機より少なからず進歩していたが、その回転子の設計と磁気回路の設計に於て、誘導現象の理論的理解の重大な誤りを以然として被つていたので、到る処不備で不充分だつた。

これらの問題に関しては既に、1860年イタリアの物理学者 Antonio Pacinotti が、大きな改良を加えた機械を建造していたのである。

彼の改良点の第一は、二つの電磁石の間の磁力線にそつて一回りする環にコイルを巻いた事であり、この為に、従来のどんなボビン形巻線の電機子よりも、磁力線を垂直に切る位置を増す事が出来た。

第二は、既に記したようにコイルを通過する磁束数を増加させる為に鉄の環



を作つて使用した点である。

Pacinotti の装置はイタリアの科学誌に掲載されたにも拘らず殆んど注目されなかつた。

電流の最大の需要者であり顧客である電気メツキ工場の人達は殆んどこの報告記事を見

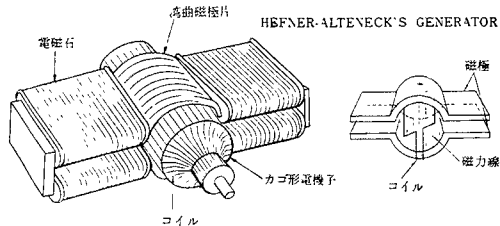
なかつたし、亦これを読んだ物理学者は応用への興味を持たなかつたので、こうした結果をひき起したと推定されるのである。

この場合に見られる発見と応用の間の溝は、科学者と技術者間の思想伝達の欠除に全く結果していた。

環状巻線法は 1870 年仏国の Zénobe Théophile Gramme により再発見され、彼により再製されたのである。彼が新たに製作した機械は原理的には Pacinotti のものと全く同様であつたが、Gramme は、この発明の重要性を認識した有力な事業家と協力することになつたので、程なく彼の機械並びにその改良した機械は電気メツキ工場、製作所、燈台にはなくてはならない装置になつた。

電機子設計における最終的な進展は 1872 年のドイツ人 F. Von Hefner-Alteneck によるカゴ型巻線の発明であつた。

導線が回転するたびに、環の外側の部分に有効な電圧が発生し、内側の部分に発生する電圧は実際には逆作用をもたらす向きの電圧になる。そこでこれをカゴ



型にすれば完全に内側の部分の電圧を取り除き、更に導線が磁場を垂直に切る位置を非常に長く大きくすることが出来るのである。

Hefner-Alteneck は初めコイルのカゴ型の枠を木で製作したが、鉄製に変えたので、この点に於ては、現代の発電機と殆んど同じ型式になった。

次いで製作者達は磁気回路と電機子との空隙を小さくすることの重要性に気づいていった。彼等は電機子の円周に適合するように、磁石の極片を彎曲させ、カゴに掘つた長い溝に巻線をうめるようにしたので、カゴの鉄枠の表面を磁石に非常に接近させることが出来た。

一方磁気回路設計については、確たる手掛もないままに進められていたのであるが 1886 年になつて英国の技術者 John と Edward Hopkinson の二人が磁気回路をどのように作製すべきかを理論的に示し得たので、それによつて遂に発電機の設計は試行錯誤法を脱け出し科学的技術となり得たのである。

1890年代に至ると、電気メッキ工業及び現今のナス形電球製造が隆盛になった。この為に直流発電機が今日の使用に於いて占めている有効性を充分に發揮し、持つようになったのである。

さて電気工学に残されている、もう一つの更に大きな発展段階は、発電機に密接につながっている電動機の出現である。

磁気から電気を生ぜしめ得ることを発見した時、Faraday はこれと反対の効果、電流を通じた導線上の磁石が機械的力を産み出すこと、即ちモーターの原理を予期して居り、1825 年にこれを明らかに示していた。

この意味で発電機と電動機は同一であつたのであるが、電動機は発電機とは全く別の線路に沿つて、亦異なる発明家に依つて発展させられた。

電動機が発電機の反対のものであり、工業及び運輸業に於て発電機の特性を相補うものであることは、極めて徐々に明らかにされ認識されていつたのである。

発電機と電動機に見られるこの表裏一体性の重要な意義は、電燈を市街に点ずる計画の為に、中央発電所が建設されて、電気がエネルギーを非常に長距離迄伝送する為の最上の手段であることを人々に見せつける迄見逃されており見向きもされなかつた。

そして 19 世紀の終りになつて、鉄道の動力である蒸気と、亦 20 世紀の開

幕を通してすべての工業に於ける蒸気動力と、電気は集中的に代り始め発電機の時代がやつて来たのである。(1964.1.30)

参 考 文 献

- | | | | |
|-------|-----------|--|---------|
| (i) | ファラデー | 電気学実験研究(一) | 岩波文庫 |
| (ii) | カチヨリ | 物理学史講義 | 中文館 |
| (iii) | ホグベン | 市民の科学 | 日本評論者 |
| (iv) | J.A.フレミング | 近代電気技術発達史 | 科学主義工業社 |
| (v) | | SCIENTIFIC AMERICAN May 1961 vol. 204. No.5 | |
| | | From Faraday to the Dynamo, by Harold I. Sharlin. | |
| (vi) | | A. History of Technology vol. 5. Edited by Charles | |
| | | Singer; Oxford University | |
| | | Press, 1958. | |
| (vii) | S. リリー | 人類と機械の歴史 | 岩波新書 |